

Dynamic Functional Force Measurements on an Anterior Bite Plane during the Night

Dynamisch funktionelle Kraftmessungen bei frontalen Aufbissen während der Nacht

Andrea Wichelhaus¹, Stefan Hüffmeier², Franz-Günter Sander²

Abstract

Background: Anterior bite planes are used in removable and fixed appliance treatment. In removable appliance treatment the question arising is whether the delivered forces can achieve active intrusion in terms of their amplitude and duration. In fixed appliance treatment, the force effect on the incisors and associated pathologic side effects, in particular under the application of intrusion mechanics, have to be considered.

Subjects and Method: The aim of the present study was to investigate the effects of an anterior bite plane during the night. For this purpose ten subjects underwent nocturnal sleep investigations by means of a telemetric system. A silicon force sensor was integrated into an anterior bite plane for continuous measurement of bite forces and of the frequency of occlusal contact with the plate.

Results: The occlusal forces exerted on the anterior bite planes ranged between 3 and 80 N. The average forces were 5.5–24 N. The number of occlusal contacts varied between 39 and 558, with forces of between 7 and 9 N being registered in most cases. Major interindividual differences were detected in the magnitude of the force as well as in bite frequency. The intraindividual pattern of arising occlusal forces showed an intermittent force effect. No significant differences were found with regard to gender or growth pattern.

Conclusions: In subjects with removable appliances, no active intrusion of teeth is possible during the night owing to the small number of occlusal contacts. Due to the partially very high forces in fixed appliance therapy, the integration of an anterior bite plane has to be assessed as critical in patients with unfavorable root geometry or bruxism.

Key Words: Anterior bite plane · Posterior bite plane · In vivo measurements · Nocturnal sleep investigation · Growth pattern · Force · Intrusion

Zusammenfassung

Hintergrund: Frontale Aufbisse werden in der herausnehmbaren und festsitzenden Behandlung angewendet. In der herausnehmbaren Behandlung stellt sich die Frage, ob die entstehenden Kräfte bezogen auf Kraftgröße und Kraftdauer aktive Intrusionseffekte erzielen können. In der festsitzenden Behandlung sind der Krafteffekt auf die Inzisiven und damit verbundene pathologische Effekte, insbesondere bei applizierten Intrusionsmechaniken, zu hinterfragen.

Probanden und Methode: Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung der Effekte eines frontalen Aufbisses während der Nacht. Dazu wurden an zehn Probanden Nachtschlafuntersuchungen mit einer Telemetrieanlage durchgeführt. An einer eingegliederten Platte mit frontalem Aufbiss wurden mittels Siliziumkraftsensor Kaukräfte, Kraftverlauf und Zubisshäufigkeit gemessen.

Ergebnisse: Die okklusalen Kräfte bei frontalen Aufbissen lagen zwischen 3 und 80 N. Die durchschnittlichen Kräfte betrugen 5,5–24 N. Die Anzahl der Zubisse schwankte zwischen 39 und 558; am häufigsten wurden Kräfte zwischen 7 und 9 N registriert. Interindividuell konnten große Unterschiede sowohl bezogen auf Kraftgröße als auch Zubisshäufigkeit festgestellt werden. Der intraindividuelle Verlauf der auftretenden okklusalen Kräfte bei den einzelnen Probanden zeigte eine intermittierende Krafteinwirkung. Bezüglich Wachstumstyp und Geschlecht wurde kein signifikanter Unterschied gefunden.

Schlussfolgerungen: Mit herausnehmbaren Apparaturen ist aufgrund der geringen Anzahl von Zubissen während der Nacht keine aktive Intrusion von Zähnen möglich. Aufgrund der teilweise sehr großen Kräfte ist ein frontaler Aufbiss in der festsitzenden Behandlung, bei Patienten mit ungünstigen Wurzelgeometrien oder Bruxismus als kritisch einzustufen.

Schlüsselwörter: Frontaler Aufbiss · Seitlicher Aufbiss · In-vivo-Messung · Nachtschlafuntersuchung · Wachstumsmuster · Kraft · Intrusion

¹Department of Orthodontics, University of Basel, Switzerland,

²Department of Orthodontics, University of Ulm, Germany.

Received: March 20, 2003; accepted: July 10, 2003

J Orofac Orthop 2003;64:417–25

DOI 10.1007/s00056-003-0316-5

Introduction

Within the scope of orthodontic treatment, slight opening of the bite is often indicated. Examples are the elimination of anterior or posterior crossbite, the correction of deep bite, or disclusion aimed at facilitating the mesialization or distalization of single teeth or groups of teeth.

Disclusion can be performed with anterior or posterior bite planes attached to removable appliances (plates, functional appliances), with anterior bite planes incorporated into fixed appliances (e.g. Nance appliance), with cemented bite blocks in the buccal segments, or with bite planes cemented to the palatal surface of the incisors (e.g. Bite Turbo®,Ormco, Glendora, CA, USA). Materials suitable for bite planes are acrylic, glass ionomer cement, silicone and stainless steel.

In the case of removable appliances (plates) with a flat bite plane, for example for correction of a crossbite, indentations are observed in the acrylic after a certain period of wear, especially in patients with a horizontal growth pattern. The outcome may be simultaneous, undesirable mandibular expansion. In this case it is advisable to reinforce the bite planes with 0.15–0.2 mm stainless steel foils. This applies especially to rapid maxillary expansion using the transverse memory expansion screw (Forestadent®,Pforzheim, Germany) [18, 20].

The occurrence of such indentations in the acrylic also shows that relatively strong forces are acting in these cases. This is a critical aspect especially when anterior bite planes are being used for orthodontic therapy, as forces are already acting intermittently or continuously on the teeth. In patients who are undergoing intrusion mechanics for deep bite, it is essential in most cases to integrate an anterior bite plane to reduce premature contacts while permitting the upper and lower jaw to be treated simultaneously. When using continuous force systems to intrude lower incisors, the intrusive forces are around 0.5 N [17]. The pathologic side effects that may occur during this tooth movement were first described by Faltin et al. [2, 3] with reference to compound elements (NiTi-steel segmented and continuous archwires). The studies show that the magnitude of the force has a crucial influence on the degree of resorption. When anterior bite planes are used in addition, the question arising is which forces in terms of their magnitude act on the incisors. From the clinical aspect there is little point in evaluating the maximum bite force only, since this only touches upon the orthodontic therapeutic situation. Another aspect of interest is therefore the frequency of these forces. Experiments on bite forces described in the literature report only single measurements of the maximum bite force [5, 6, 8–10, 19, 22, 24, 25]. This is, however, of little relevance to orthodontic therapy and the associated issue. As a rule, maximum bite force is a rare occurrence in any patient. In the literature there are no reported data on dynamic functional force measurements, but it is functional forces that reflect the clinical situation among our orthodontic patients.

Einleitung

Im Rahmen einer kieferorthopädischen Behandlung besteht häufig die Indikation einer Bissperrung. Beispiele hierfür sind die Überstellung eines frontalen oder seitlichen Kreuzbisses, die Korrektur eines Tiefbisses oder die Entkoppelung der Okklusion zur Erleichterung der Mesial- oder Distalbewegungen von Zähnen bzw. Zahngruppen.

Eine Bissperrung kann mit frontalen oder seitlichen Aufbissen an herausnehmbaren Geräten (Platten, FKO-Geräte), frontalen Aufbissen an festsitzenden Behelfen (z.B. Nance Appliance), festzementierten Aufbissen im Seitenzahnbereich oder auf den Oralflächen der Frontzähne befestigten Aufbissen (z.B. Bite Turbo®,Ormco, Glendora, CA, USA) durchgeführt werden. Als Materialien für einen Aufbiss stehen Kunststoff, Glasionomerkement, Silikon und Edelstahl zur Verfügung.

Bei herausnehmbaren Apparaturen (Platten) mit glattem Aufbiss z.B. zur Überstellung eines Kreuzbisses stellt man – insbesondere bei Patienten mit horizontalem Wachstumsmuster – nach einer gewissen Tragezeit Impressionen im Kunststoff fest. Diese können zu einer gleichzeitigen (unerwünschten) Dehnung im Unterkiefer führen. In diesem Fall empfiehlt es sich – v.a. bei schneller Dehnung im Oberkiefer mit der Memory-Transversaldehnschraube (Forestadent®,Pforzheim, Deutschland) – die Aufbisse mit dünnen Edelstahlfolien der Stärke 0,15–0,2 mm zu verstärken [18, 20].

Die Tatsache, dass es zu Impressionen im Kunststoff kommt, zeigt jedoch auch, dass hier offensichtlich relativ große Kräfte wirken. Dies ist insbesondere bei Anwendung von frontalen Aufbissen während der orthodontischen Therapie ein kritischer Aspekt, da hier bereits Kräfte intermittierend oder kontinuierlich auf die Zähne einwirken. Bei Patienten mit Tiefbiss, bei denen eine Intrusionsmechanik durchgeführt wird, ist in den meisten Fällen die Eingliederung eines frontalen Aufbisses zur Verminderung von Frühkontakten und gleichzeitige Behandlung von Ober- und Unterkiefer erforderlich. Die intrudierenden Kräfte, bei Anwendung von kontinuierlichen Kraftsystemen, liegen bei der Intrusion der Inzisiven im Unterkiefer bei ca. 0,5 N [17]. Pathologische Effekte können bei dieser Zahnbewegung auftreten und wurden auch von Faltin et al. [2, 3], erstmals bei Compound-Elementen (NiTi-Stahl-Teilbögen und -Bögen), beschrieben. Die Studien zeigen, dass die Kraftgröße einen entscheidenden Einfluss auf das Ausmaß der Resorptionsanteile hat. Bei zusätzlicher Anwendung von frontalen Aufbissen stellt sich nun die Frage, welche Kräfte, bezogen auf die Kraftgröße, wirken auf die Inzisiven ein. Dabei ist es unter klinischen Aspekten wenig sinnvoll, aktiv bei den Patienten ausschließlich die maximale Kaukraft zu evaluieren, da dies nur ansatzweise der kieferorthopädisch therapeutischen Situation entspricht. Daher ist zusätzlich von Interesse, wie häufig diese Kräfte einwirken. Die in der Literatur beschriebenen Versuche über Kaukräfte zeigen lediglich einmalige Messungen der maximalen Kaukraft [5, 6, 8–10, 19, 22, 24, 25]. Dies ist jedoch für die orthodon-

Therefore the aim of this study was to measure telemetrically the forces occurring in a group of subjects during the night in order to obtain information on potential dental and skeletal effects of anterior bite planes. In contrast to previous studies, the functional dynamic force-time chart was to be plotted. At the same time the question of whether the forces acting during the wearing of a bite plane may be pathologic, especially in view of the delicate root configuration in the lower incisor area, was to be clarified.

Subjects and Method

The sensor used to measure the force was a shielded capacitance silicon sensor (GISMA Dr. Ziegler & Bilger, Freiburg i. Br., Germany) [21, 27] (Figure 1). The sensor was embedded into Memosil® addition polymerized silicone (Heraeus Kulzer, Hanau, Germany) sandwich-bonded between two stainless steel plates. This transducer was covered with heat shrink tubing to insulate it against humidity.

The voltage delivered by the sensor was amplified by means of a carrier frequency amplifier (GISMA Dr. Ziegler & Bilger, Freiburg i. Br., Germany) and transmitted to the main unit of the telemetric system (Conrad, Hirschau, Germany) where the digitization (8 bit) and subsequent serial output of the data were performed. The data were transmitted via a transmitter/receiver set to a portable PC using purpose-developed software (Telemet, Version 2.09, Conrad, Hirschau, Germany).

The sensor was calibrated in a thermal chamber at 37 °C. A universal testing machine 1425 (Zwick, Ulm, Germany) was used as a reference force transducer.

The investigations were carried out in ten healthy adults (five female, five male; mean age 25.5 ± 1.20 years) during

tische Therapie und die sich daraus ergebende Fragestellung wenig relevant. In der Regel ist ein maximales Zubeißen des Patienten eher nur in Ausnahmefällen zu erwarten. In der Literatur sind keine Daten über funktionell dynamische Kraftmessungen existent. Funktionelle Kraftabläufe spiegeln jedoch die klinische Situation bei unseren orthodontischen Patienten wider.

Ziel dieser Untersuchung war daher, an mehreren Probanden telemetrisch die während der Nacht auftretenden Kräfte aufzuzeichnen, um Aussagen über mögliche dentale und skelettale Effekte von frontalen Aufbissen zu erhalten. Im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen sollte der funktionelle dynamische Zeit-Kraft-Verlauf dargestellt werden. Gleichzeitig sollte die Frage geklärt werden, ob die bei Verwendung eines Aufbisses wirkenden Kräfte möglicherweise – speziell bei der grazilen Wurzelkonfiguration in der Unterkieferfront – pathologisch sein können.

Probanden und Methode

Als Sensor wurde ein abgeschirmter kapazitiver Silizium-Kraftsensor (GISMA Dr. Ziegler & Bilger, Freiburg, Deutschland) verwendet [21, 27] (Abbildung 1). Der Sensor wurde in das additionsvernetzende Silikon Memosil® (Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland), das oben und unten mit zwei Edelstahlplatten verklebt wurde, eingebettet (Sandwich-Prinzip). Die so hergestellte Messdose wurde zur Isolierung gegen Feuchtigkeit mit einem Schrumpfschlauch überzogen.

Die vom Sensor gelieferte Spannung wurde durch einen Trägerfrequenzverstärker (GISMA Dr. Ziegler & Bilger, Freiburg i.Br., Deutschland) verstärkt und an die Haupteinheit der Telemetrie-Anlage (Conrad, Hirschau, Deutschland) weitergegeben, wo die Digitalisierung (8 bit) und anschließende serielle Ausgabe der Daten erfolgte. Die Daten wurden über ein Sender-/Empfänger-Set per Funk zu einem tragbaren PC mit einer speziellen Software (Telemet, Version 2.09, Conrad, Hirschau, Deutschland) übertragen.

Die Kalibrierung des Sensors erfolgte in einer Temperatorkammer bei 37 °C. Als Referenzkraftgeber wurde die Universalprüfmaschine 1425 (Zwick, Ulm, Deutschland) verwendet.

Die Nachtschlafuntersuchungen erfolgten an zehn gesunden Erwachsenen (fünf weibliche, fünf männliche; Alter $25,5 \pm 1,20$ Jahre) mit vollständiger natürlicher Bezahnung, ohne Kiefergelenksbeschwerden oder parodontale Erkrankungen (Abbildung 2). Der Schädelaufbau war entweder neutral oder horizontal.

Von jedem Probanden wurden Alginat-Abformungen von Ober- und Unterkiefer angefertigt und Arbeitsmodelle aus Gips hergestellt. Anschließend wurde auf den Arbeitsmodellen jeweils eine Oberkieferplatte mit frontalem Aufbiss hergestellt, auf dem die Messdose befestigt wurde.

Außerdem gab es von jedem Probanden ein Fernröntgenseitenbild, das entsprechend der Fernröntgenanalyse der

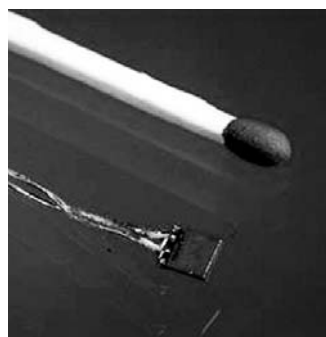


Figure 1. Sensor in size comparison.

Abbildung 1. Der Sensor im Größenvergleich.



Figure 2. Subject fitted with the measuring equipment.

Abbildung 2. Proband mit Messapparatur.

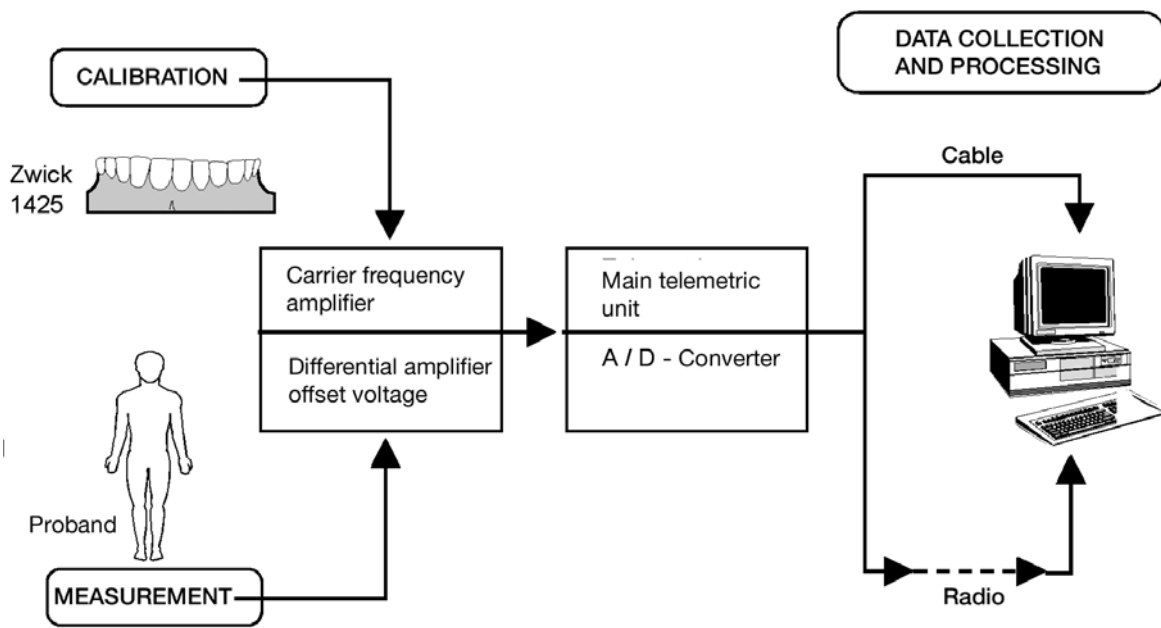


Figure 3. Calibration and measuring sequence.

Abbildung 3. Schematische Darstellung des Ablaufs der Eichung bzw. Messung.

their nocturnal sleep. All subjects had a complete natural dentition and no temporomandibular disorders or periodontal disease (Figure 2). The facial skeletal structure was either neutral or horizontal.

Alginate impressions of the upper and lower arches were taken in each subject and plaster models were produced. A maxillary plate with anterior bite plane to which the transducer was fixed was then fabricated.

In addition a lateral cephalogram of each subject was prepared and cephalometrically analyzed at the Department of Orthodontics, University of Ulm.

The measurements were carried out at the subjects' own homes (Figure 3).

The Origin™ spreadsheet, (Microcal™ Software Inc., Northampton, MA, USA) and SPSS® 8.0 for Windows statistical software (SPSS Software Inc., Chicago, IL, USA) were used for data processing. The statistical analysis was based on the Wilcoxon test and the Mann-Whitney U test. The level of significance was set at $\alpha = 0.05$.

Results

Most subjects stated that they had not slept as well as usual during the registration night; they had felt restricted by the measuring equipment, especially in their freedom of movement. Those subjects who had never undergone orthodontic treatment attributed their disturbed sleep to the unaccustomed intraoral appliance. In one subject virtually no activity was registered throughout the night. He proved to have had a cold and to have breathed through his mouth all night long. The measurements were repeated when the cold had cleared up.

The results presented in Table 1 demonstrate that the occlusal forces acting on anterior bite planes during the night

Abteilung für Kieferorthopädie der Universität Ulm ausgewertet wurde.

Die Messungen erfolgten in der häuslichen Umgebung der Probanden (Abbildung 3).

Für die Datenverarbeitung wurden das Tabellenkalkulationsprogramm Origin™ (Microcal™ Software Inc., Northampton, MA, USA) und das Statistikprogramm SPSS® 8.0 für Windows (SPSS Software Inc., Chicago, IL, USA) verwendet. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Wilcoxon- und Mann-Whitney-U-Test. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0.05$ festgelegt.

Ergebnisse

Die meisten Probanden gaben an, dass sie subjektiv in der Nacht der Messung schlechter geschlafen hatten als sonst; sie fühlten sich durch die Messapparatur vor allem in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt. Diejenigen Probanden, die nicht kieferorthopädisch behandelt worden waren, führten ihre Schlafstörungen auch auf das ungewohnte Gerät im Mund zurück. In einem Fall wurden bei einem Probanden während der ganzen Nacht fast keine Aktionen registriert. Es stellte sich heraus, dass er erkältet war und die ganze Nacht durch den Mund geatmet hatte. Die Messung wurde nach Abklingen der Erkältung wiederholt.

Die Ergebnisse, in Tabelle 1 dargestellt, zeigen, dass die okklusalen Kräfte bei frontalen Aufbissen während der Nacht intra- und interindividuell große Streuungen aufweisen. Die gemessenen Werte bei den Probanden betrugen 3–80 N. Die mittlere okklusale Kraft betrug $10,6 \pm 10$ N. Die Maximalwerte für die gemessenen okklusalen Kräfte lagen zwischen 16,5 N (Proband 6) und 80,1 N (Proband 3). Der arithmetische Mittelwert aller Maximalwerte betrug 46,8 N (SD = $\pm 23,6$ N). Im Durchschnitt lagen die gemessenen Kräfte zwischen 5,5 N

Table 1. Results: forces registered in the incisor region (N).

Tabelle 1. Ergebnisse: Registrierte Kräfte im Frontzahnbereich (in N).

Subject no.	Force Mean	Max	Min	SD
1	9.7	18.4	6.6	2.8
2	18.5	58.9	8.0	10.3
3	24.0	80.1	8.9	16.2
4	9.8	17.0	9.0	1.6
5	6.7	34.4	4.0	4.1
6	5.5	16.5	3.8	2.3
7	13.4	56.3	5.6	10.7
8	9.9	53.4	5.0	7.8
9	12.6	72.9	5.4	12.6
10	9.1	59.9	3.0	12.1

show a broad intraindividual and interindividual scatter. The values measured in the subjects were 3–80 N. The mean occlusal force was 10.6 ± 10 N, with maximum values ranging from 16.5 N (subject 6) to 80.1 N (subject 3). The arithmetic mean of all maximum values was 46.8 N ($SD = \pm 23.6$ N). On average the measured forces were between 5.5 N (subject 6) and 24.0 N (subject 3); the arithmetic mean was 11.9 N ($SD = \pm 5.6$ N). The number of activities recorded was between 43 (subject 4) and 558 (subject 8), with a mean of 286.5 ($SD = \pm 199.1$ N). Forces between 7 and 9 N were registered most frequently. The average duration of the occlusal contact was 1–2 seconds.

Figure 4 shows an example of a force-time chart. The scaling of the axes, especially of the y-axis, was selected to give an optimal representation of the maximum number of

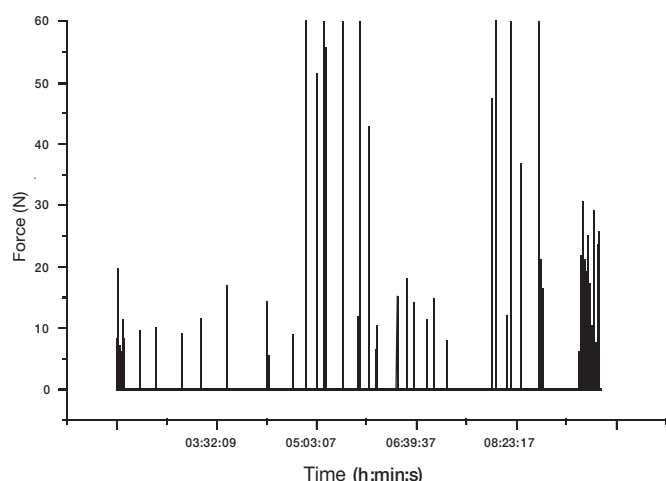

Figure 4. Force-time chart, subject 9.

Abbildung 4. Kraft-Zeit-Verlauf bei Proband 9.

(Proband 6) und 24,0 N (Proband 3), das arithmetische Mittel lag bei 11,9 N ($SD = \pm 5,6$ N). Die Anzahl der Messwerte lag zwischen 43 (Proband 4) und 558 (Proband 8); durchschnittlich wurden 286,5 Aktionen registriert ($SD = \pm 199,1$ N). Dabei wurden am häufigsten Kräfte zwischen 7 und 9 N gemessen. Die Dauer der Zubisse betrug durchschnittlich 1–2 Sekunden.

In Abbildung 4 ist exemplarisch der Kraft-Zeit-Verlauf einer Messung dargestellt. Die Skalierung der Achsen, insbesondere der Y-Achse, ist so gewählt, dass eine optimale Darstellung vieler Werte möglich ist. Dabei ist zu beachten, dass in dieser Auflösung nicht alle Punkte (= Zubisse) dargestellt werden.

Der Kraft-Zeit-Verlauf dieser Messung weist im Vergleich zu den meisten anderen Messungen relativ viele Aktionen auf, die gleichmäßig über die Dauer der gesamten Messung verteilt sind. Auffällig ist die gehäufte Anzahl von Aktionen am Anfang und am Ende der Messung. Der Maximalwert für die Kraft, mit der zugebissen wurde, liegt bei 59,9 N.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch die Häufigkeitsverteilung der bei der gleichen Messung registrierten Kräfte. Die Skalierung der Achsen, insbesondere der Y-Achse, ist so gewählt, dass eine optimale Darstellung vieler Werte möglich ist. Insgesamt wurden bei dieser Messung 390 Aktionen registriert. Dabei lagen die meisten Aktionen im Bereich zwischen 9 und 11 N. Mit zunehmender Größe der Kraft sank die Anzahl der entsprechenden Aktionen.

Als allgemeine Tendenz bei den Messungen ist zu erkennen, dass mit zunehmender Kraft deren Häufigkeit abnahm, d.h., große Kräfte wurden seltener registriert als kleine Kräfte. Während Proband 5 häufigere kleinere Zubisse mit einer Kraftgröße von 10 N und kleiner aufwies, zeigte Proband 4 nur vereinzelte Kraftpeaks, die häufig bei 10 N und größer lagen (Abbildungen 6 und 7). Die Messungen von Proband 4 zeigen mit Abstand die wenigsten Zubisse. Der Maximalwert

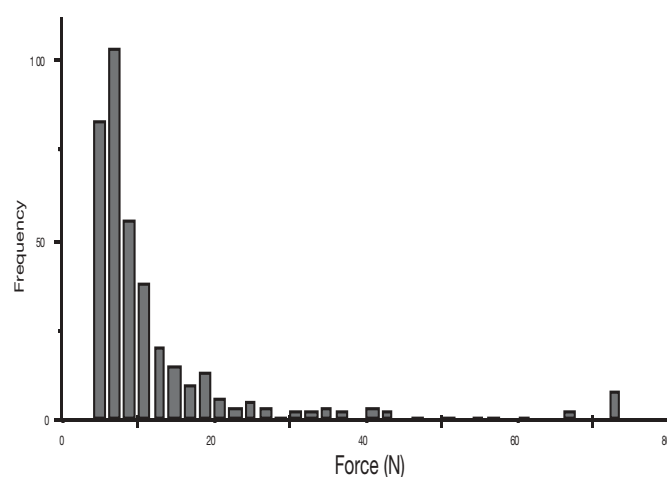

Figure 5. Frequency distribution of the registered forces, subject 9.

Abbildung 5. Häufigkeitsverteilung der registrierten Kräfte (Proband 9).

measurements. However, it is important to note that not all points (occlusal contacts) are shown in this resolution.

In comparison with most other measurements, the force-time chart shows a relatively high level of activity distributed over the entire observation period. One striking feature is the increased activity at the start and at the end of the observation period. The maximum bite force was 59.9 N.

Figure 5 shows as an example the frequency distribution of forces registered during one observation period. The scaling of the axes, especially of the y-axis, was selected to give an optimal representation of the maximum quantity of data. A total of 390 contacts were registered during this period, most of them with a force of between 9 and 11 N force. The number of contacts decreased with increasing force.

The measurements displayed a general tendency to decline in frequency as the force increased, meaning that high forces were registered less frequently than low forces. Whereas subject 5 showed more frequent, weaker occlusal contacts with a force of 10 N or less, subject 4 showed only sporadic peaks in force, which frequently reached 10 N or more (Figures 6 and 7). The measurements registered in subject 4 showed by far the fewest contacts. The maximum value of the occlusal forces measured during the whole night was only 17 N. Most contacts were recorded at the beginning of the observation period. During the night there were no contacts for a 2-hour period (Figure 7). In subject 5 too, an overall higher bite frequency was characterized by a higher number of contacts at the beginning and at the end of the registration period (Figure 6).

The maximum values of the forces registered at the anterior bite plane were tested for statistical significance with respect to growth pattern and gender of the subjects. This revealed no significant difference between subjects with neutral and with horizontal growth patterns. Nor was any significant difference recorded between males and females ($p > 0.05$).

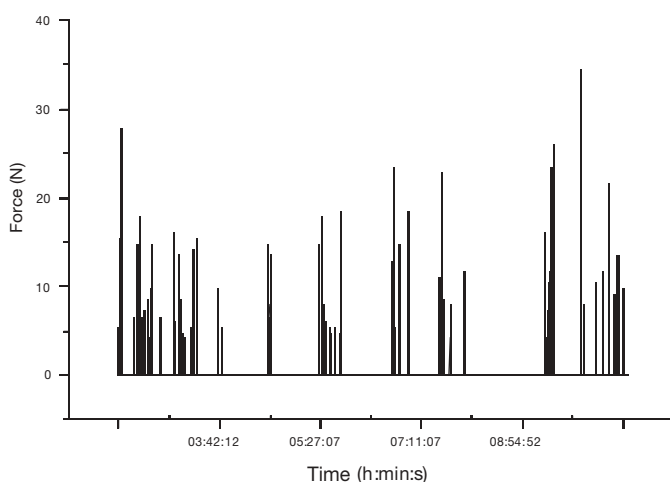


Figure 6. Force-time chart, subject 5.

Abbildung 6. Kraft-Zeit-Verlauf bei Proband 5.

der gemessenen okklusalen Kräfte während der gesamten Nacht lag bei nur 17 N. Die meisten Zubisse wurden zu Beginn der Messungen beobachtet. Während der Messungen traten über einen Zeitraum von 2 Stunden keine Zubisse auf (Abbildung 7). Auch bei Proband 5 lässt sich, bei insgesamt höherer Zubissfrequenz, eine größere Zubisshäufigkeit zu Beginn und am Ende der Aufzeichnungen feststellen (Abbildung 6).

Die gefundenen Maximalwerte der gemessenen Kräfte beim frontalen Aufbiss wurden auf einen signifikanten Unterschied bezüglich des Wachstumstyps und des Geschlechts der Probanden hin untersucht. Dabei wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Probanden mit neutralem und horizontalem Wachstumstyp festgestellt. Es zeigte sich ebenfalls kein Unterschied zwischen den männlichen und weiblichen Probanden ($p > 0,05$).

Diskussion

Größe der Kräfte

Bisher liegen nur zu Aktivator- und Vorschubdoppelplatten Nachtschlafuntersuchungen vor [12, 15]. Zusätzlich können Studien zur Bestimmung der Kaukraft zum Vergleich herangezogen werden. Die meisten dieser Untersuchungen entstammen dem Bereich der zahnärztlichen Prothetik und stehen im Zusammenhang mit der Belastbarkeit der Parodontien bzw. der Schleimhaut sowie der Stabilität von Zahnersatz [4–6, 8, 9, 19, 22, 24–26].

Die in der vorliegenden Untersuchung registrierten okklusalen Kräfte liegen im Vergleich zu den meisten der o.g. Veröffentlichungen weit unter den dort angegebenen Werten. Nur Howell & Manly [5] sowie Körber [8] fanden noch kleinere Werte. Dagegen liegen die von Schnell [19] und Windecker [26] veröffentlichten Maximalwerte in derselben Größenordnung wie die in der vorliegenden Studie.

Die Tatsache, dass die meisten Autoren höhere Werte angeben, lässt sich dadurch erklären, dass es in ihren Untersu-

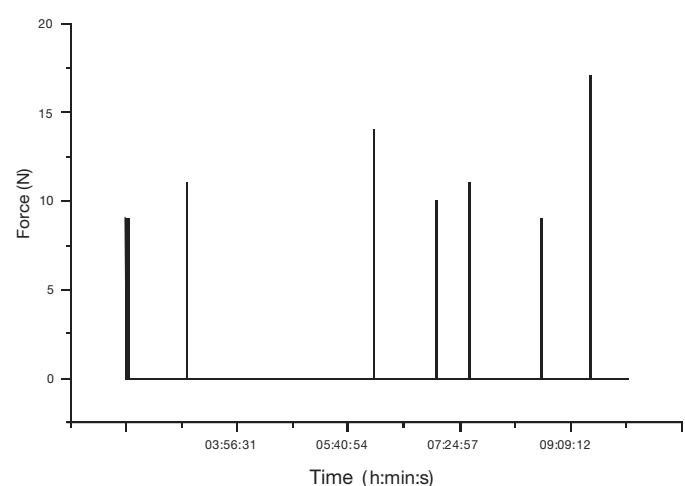


Figure 7. Force-time chart, subject 4.

Abbildung 7. Kraft-Zeit-Verlauf bei Proband 4.

Discussion

Extent of Forces

To date, studies investigating nocturnal activity have focused on activators and bite-jumping appliances [12, 15]. Studies designed to determine the bite force can also be used for comparison purposes. Most of these studies derive from the specialty of prosthodontics and deal with the load capacity of the periodontal tissues or the mucosa and with the stability of prosthodontic dentures [4–6, 8, 9, 19, 22, 24–26].

The occlusal forces registered in the present study are far below those reported in most of the above-stated publications. Only Howell & Manley [5] and Körber [8] reported even lower values. By contrast, the maximum values published by Schnell [19] and by Windecker [26], are on the same scale as in the present study.

The fact that most authors report higher values is due to their studies having been aimed at determining a reproducible value, the maximum deliberately attainable bite force. In contrast, in the present study the functional dynamic force-time chart was recorded during nocturnal sleep, when the forces occurring are obviously below the maximum attainable values, with the exception of any nocturnal parafunctions.

There are, however, very few studies in which functional forces occurring on swallowing or chewing or while sleeping were also registered. In a study of occlusal forces in adults, Proffit et al. [10] analyzed the forces occurring during swallowing in addition to the maximum bite force. The values reported by these authors are on the same scale as those registered in the present study.

Frequency of Forces

Due to the small number of subjects and the large interindividual fluctuations, this result in particular needs to be verified by further studies. It is remarkable that a relatively small amount of activity was registered in seven subjects and a relatively large amount in three.

One possible reason is that some subjects who had never undergone orthodontic treatment were unaccustomed to wearing a maxillary appliance. In these subjects, the measuring equipment may have precipitated increased occlusal activity and parafunctions ("first night effect" [12]), which might have accounted for the markedly increased activity. In a study of the motor activity of mandibular and body movements during sleep, Sander [13] demonstrated that unaccustomed or ill-fitting appliances led to a reduced sleeping time and increased lower jaw activity.

Frequency Distribution of Forces

In nearly all subjects, considerably more activity was registered in the falling-asleep and the awakening period than during sleep. This corresponds to the results of Sander [12, 16], who detected in his nocturnal sleep studies considerably more mandibular activity during the falling-asleep and the awakening period.

chungen um die Bestimmung eines reproduzierbaren Wertes, der maximalen, willentlich erreichbaren Kaukraft, ging. Im Gegensatz dazu wurde in dieser Studie der funktionelle dynamische Zeit-Kraft-Verlauf während des Nachtschlafs registriert. Die dabei auftretenden Kräfte liegen natürlicherweise unter den maximal erreichbaren Werten – mit Ausnahme von eventuellen nächtlichen Parafunktionen.

Dagegen gibt es nur sehr wenige Studien, in denen auch funktionelle Kräfte, wie sie beim Schlucken, Kauen oder während des Schlafs auftreten, registriert wurden. In einer Studie über okklusale Kräfte bei Erwachsenen untersuchten Proffit et al. [10] neben der maximalen Kaukraft auch die Kräfte, die beim Schluckakt auftreten. Die dabei gefundenen Werte liegen in derselben Größenordnung wie die Werte in der vorliegenden Untersuchung.

Häufigkeit der Kräfte

Aufgrund der geringen Probandenzahl und der großen interindividuellen Schwankungen muss vor allem dieses Ergebnis noch durch weitere Untersuchungen überprüft werden. Es fällt auf, dass bei sieben Probanden relativ wenige Aktionen und bei drei Probanden relativ viele Aktionen registriert wurden.

Eine mögliche Ursache ist, dass einige Probanden, die nie in kieferorthopädischer Behandlung waren, das Tragen einer Oberkieferplatte nicht gewöhnt waren. Bei diesen Probanden ist unter Umständen durch die Messapparatur ein Trigger für verstärkte Zubissaktionen und Parafunktionen installiert worden („first night effect“ [12]), was die deutlich erhöhte Anzahl von Aktionen erklären könnte. Sander [13] konnte in einer Untersuchung zur Motorik von Unterkiefer- und Großkörperbewegungen während des Schlafes nachweisen, dass ungewohnte oder schlecht passende Geräte zu einer verkürzten Schlafzeit und einer erhöhten Unterkieferbewegungsfrequenz führen.

Häufigkeitsverteilung der Kräfte

Nahezu bei allen Probanden wurden in der Einschlaf- und Aufwachphase deutlich mehr Aktionen registriert als während des Schlafes. Dies steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen von Sander [12, 16], der in seinen Nachtschlafuntersuchungen deutlich erhöhte Unterkieferaktivitäten während der Einschlaf- und Aufwachphase feststellen konnte.

Korrelation mit dem Wachstumstyp

In verschiedenen Untersuchungen wurde eine Korrelation zwischen der Kaukraft und dentalen bzw. skelettalen Werten untersucht. Dabei wurden bei Patienten mit vertikalem Wachstumstyp signifikant kleinere Kräfte gemessen als bei Patienten mit neutralem Wachstumstyp [1, 10, 23]. In der vorliegenden Untersuchung wurden Probanden mit neutralem und horizontalem Wachstumstyp untersucht; dabei konnte kein signifikanter Unterschied in der maximalen ok-

Correlation with Growth Pattern

Various authors examined whether there was a correlation between bite force and dental or skeletal variables, with significantly lower forces being measured in patients with a vertical growth pattern than in those with a neutral growth pattern [1, 10, 23]. In the present study involving subjects with neutral and horizontal growth patterns, no significant difference in maximum occlusal force was detected. The predictive potential of this result is, however, low on account of the small number of subjects and the non-uniform distribution (two neutral, eight horizontal). The extent to which the results would be changed by enrolling a larger cohort and by expanding the cohort to include subjects with a vertical growth pattern has to be clarified in further studies.

Correlation with Gender

In the present study no significant difference was recorded between males and females in maximum bite force. This result is at odds with those of various other studies in which significantly higher maximum bite forces were detected in males than in females [11, 22, 25]. The reported differences ranged from 19.7% to 37.8%. This too may be due to the small number of subjects in the present collective and to the fact that the above-mentioned studies were aimed at determining the maximum deliberately attainable bite force, whereas the present study investigated the functional forces occurring during nocturnal sleep.

Influence on Sleep

A "secondary finding" of this study was that nearly all subjects reported after the registration that they had slept (much) less deeply and for (much) less time than usual. Although only subjective, this result is in accordance with findings reported by Sander [14], who showed that removable orthodontic appliances may have a considerable influence on nocturnal sleep. In five of his patients and three adult subjects, electroencephalography was performed during the nocturnal sleep. In the patients, who were wearing a modified appliance instead of their accustomed appliance, an extended falling-asleep period, a reduced total sleeping period, and a considerable reduction in synchronized sleep were registered. The adult subjects reacted in part even more strongly than the patients; the disturbances were so pronounced that the appliance was unconsciously removed from the mouth during the night. In a study of the motor activity of mandibular and body movements during sleep, Sander [13] also demonstrated that unaccustomed or ill-fitting appliances led to a reduced sleeping period.

Conclusions

When an anterior bite plane is worn, intermittent forces displaying large interindividual and intraindividual fluctuations in their magnitude and frequency occur during the night.

klusalen Kraft ermittelt werden. Dieses Resultat ist aber aufgrund der geringen Probandenzahl und der ungleichen Verteilung (zwei neutral, acht horizontal) nicht sehr aussagekräftig. Inwieweit sich die Ergebnisse bei einer größeren Probandenzahl und einer Erweiterung des Kollektivs um Probanden mit vertikalem Wachstumstyp ändern, müssen weitergehende Untersuchungen zeigen.

Korrelation mit dem Geschlecht

In der vorliegenden Studie wurde kein signifikanter Unterschied bezüglich der maximalen Kaukraft zwischen männlichen und weiblichen Probanden gefunden. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu verschiedenen anderen Studien, in denen bei männlichen Probanden signifikant höhere maximale Kaukräfte festgestellt wurden als bei weiblichen. Dabei wurde je nach Untersuchung eine Differenz von 19,7% bis zu 37,8% ermittelt [11, 22, 25].

Eine mögliche Erklärung liegt auch hier in der geringen Probandenzahl und in der Tatsache, dass es in den genannten Untersuchungen um die Bestimmung der maximalen willentlich erreichbaren Kaukraft ging. Im Gegensatz dazu wurden in der vorliegenden Studie funktionelle Kräfte während des Nachtschlafs untersucht.

Einfluss auf den Schlaf

Ein „Nebenbefund“ dieser Untersuchung war, dass fast alle Probanden nach der Messung angaben, z.T. deutlich schlechter und weniger als gewohnt geschlafen zu haben. Dieses – zwar nur subjektive Ergebnis – steht im Einklang zu Untersuchungen von Sander [14]. Er konnte nachweisen, dass herausnehmbare kieferorthopädische Geräte einen erheblichen Einfluss auf den Nachtschlaf haben können. Bei fünf seiner Patienten und drei erwachsenen Probanden wurde ein Nachtschlaf-EEG durchgeführt. Bei den Patienten, die ein gegenüber ihrem gewohnten Gerät verändertes Gerät erhielten, kam es zu einer Verlängerung der Einschlafphase, einer Verkürzung der Gesamtschlafzeit und einer erheblichen Reduktion des synchronisierten Schlafs. Die Probanden reagierten z.T. noch stärker als die Patienten; die Störungen waren teilweise so massiv, dass das Gerät nachts unbewusst aus dem Mund entfernt wurde. In einer Untersuchung zur Motorik von Unterkiefer- und Großkörperbewegungen während des Schlafes konnte Sander [13] ebenfalls nachweisen, dass ungewohnte oder schlecht passende Geräte zu einer verkürzten Schlafzeit führen.

Schlussfolgerungen

Bei Verwendung eines frontalen Aufbisses treten während der Nacht intermittierende Kräfte auf, die bezüglich ihrer Größe und Häufigkeit große inter- und intraindividuelle Schwankungen aufweisen.

Aufgrund der teilweise sehr großen Kräfte ist ein Aufbiss bei Patienten mit ungünstigen Wurzelgeometrien oder Bruxismus als kritisch einzustufen. Auf jeden Fall sollte diese Tat-

In view of the partially very high forces, a bite plane for patients with unfavorable root geometries or bruxism has to be classified as critical. In all events this fact should have consequences on the material selected (soft/hard).

It can be concluded from the measured values that teeth cannot be (actively) intruded by means of an anterior bite plane, since the period of occlusal contact is only short. The bite can be opened by means of a bite plane only if adjunctive measures are taken to elongate the posterior teeth [7].

The intrusion of incisors therefore demands fixed appliances, as bite planes have only brief force transmissions. In order to prevent root resorption, low forces should be applied to the teeth to be intruded [2, 3, 17].

sache aber Konsequenzen für die Wahl des Materials (weich/hart) haben.

Aus den gemessenen Werten kann gefolgert werden, dass mit Hilfe eines frontalen Aufbisses keine (aktive) Intrusion von Zähnen möglich ist, da die Zubisszeit nur kurz ist. Eine Bisshebung unter Verwendung eines Aufbisses ist nur dann möglich, wenn durch entsprechende Maßnahmen eine Elongation der Seitenzähne ermöglicht wird [7].

Die Intrusion von Schneidezähnen bleibt festsitzenden Apparaturen vorbehalten, da Aufbisse nur kurzzeitige Kraftübertragungen haben. Dabei sollten zur Vermeidung von Wurzelresorptionen kleine Kräfte auf die zu intrudierenden Zähne appliziert werden [2, 3, 17].

References

- Braun S, Bantleon H-P, Hnat WP, et al. A study of bite force. Part 2: Relationship to various cephalometric measurements. *Angle Orthod* 1995;65:373-7.
- Faltin RM, Arana-Chavez VE, Faltin K, et al. Root resorptions in upper first premolars after application of continuous intrusive forces. Intra-individual study. *J Orofac Orthop* 1998;59:208-19.
- Faltin RM, Faltin K, Sander F-G, et al. Ultrastructure of cementum and periodontal ligament after continuous intrusion in humans: a transmission electron microscopy study. *Eur J Orthod* 2001; 23:35-49.
- Gerlach KL, Nußbaum P. Elektrisches Messverfahren zur Bestimmung der Belastbarkeit des Unterkiefers bei Patienten mit vollbezahntem Gebiss. *Dtsch Zahnärztl Z* 1984;39:146-9.
- Howell AH, Manley RS. An electronic strain gauge for measuring oral forces. *J Dent Res* 1948;27:705-12.
- Kampe T, Haraldson T, Hannerz H, et al. Occlusal perception and bite force in young subjects with and without dental fillings. *Acta Odontol Scand* 1987;45:101-7.
- Kessler M. The bite plane – an adjunct in periodontic and orthodontic therapy. *J Periodontol* 1980;51:123-35.
- Körber E. Untersuchung über das Kauzentrum und den Belastungsausgleich bei Prothesen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1961;16:268-71.
- Lassila V, Holmlund I, Koivumaa K. Bite force and its correlations in different denture types. *Acta Odontol Scand* 1985;43:127-32.
- Proffit WR, Fields HW, Nixon WL. Occlusal forces in normal and long-face adults. *J Dent Res* 1983;62:566-71.
- Ringqvist M. Isometric bite force and its relation to dimensions of the facial skeleton. *Acta Odontol Scand* 1973;31:35-42.
- Sander FG. Zur Frage der Biomechanik des Aktivators – Entwicklung und Erprobung neuer Untersuchungsmethoden. Opladen: Westdeutscher Verlag, 1980.
- Sander FG. Die Motorik von Unterkiefer- und Großkörperbewegungen während des Schlafes. *Fortschr Kieferorthop* 1981;42:223-32.
- Sander FG. Der Einfluss herausnehmbarer kieferorthopädischer Geräte auf den Nachtschlaf der Patienten. *Fortschr Kieferorthop* 1982;43:57-63.
- Sander FG. Der Nachteffekt bei der Anwendung der Vorschubdoppelplatte. *Prakt Kieferorthop* 1989;3:97-106.
- Sander FG. Biomechanische Aspekte des Federaktivators. *Prakt Kieferorthop* 1991;5:17-28.
- Sander FG, Wichelhaus A, Schiemann C. Intrusion mechanics according to Burstone with the NiTi-SE-steel uprighting spring. *J Orofac Orthop* 1996;57:210-23.
- Sander FG. Herausnehmbare kieferorthopädische Geräte. In: Schmuth G, Hrsg. *Praxis der Zahnheilkunde* Bd. 11, Kieferorthopädie. München: Urban & Schwarzenberg, 1994:129-220.
- Schnell H. Untersuchungen über die Kaukraftgröße bei totalen Unterkieferprothesen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970;25:829-33.
- Sigala O. Experimentelle und klinische Untersuchung der Memory Dehnschraube für die transversale Erweiterung des Oberkiefers. Universität Ulm, Med. Diss., 1998.
- Spindler BC. Aufbau und Erprobung einer 12-kanaligen EMG-Anlage zur digitalen Erfassung des Leistungsspektrums unter Einbeziehung einer Kaukraftmessdose. Universität Freiburg, Med. Diss., 1995.
- Supasane S. Kaukraftmessungen an unterschiedlich verankerten Teilprothesen. Universität München, Med. Diss., 1991.
- van Spronsen PH, Weijs WA, Valk J, et al. A comparison of jaw muscle cross-sections of long-face and normal adults. *J Dent Res* 1992;71:1279-85.
- Voelker, H., Sonnenburg, M. Belastbarkeitsmessungen der Zähne in verschiedenen Altersstufen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1984;39:54-9.
- Williams WN, Levin AC, LaPointe LL, et al. Bite force discrimination by individuals with complete dentures. *J Prosthet Dent* 1985; 54:146-50.
- Windecker D. Zur Basisgestaltung und zur Statik der abgestützten Teilprothese. *Zahnärztl Welt* 1973;62:505-14.
- Ziegler KH. Kapazitiver Kraftsensor. Europäische Patentschrift EP 0545962 1994.

Correspondence Address

Prof. Dr. Andrea Wichelhaus
Clinic of Orthodontics and Paediatric Dentistry
University of Basel
Hebelstr. 3
4056 Basel
Switzerland
Phone (+41/61) 26726-40, Fax -57
e-mail: Andrea.Wichelhaus@unibas.ch